Práctica 4

ANÁLISIS DE UNA ESTRUCTURA PLANA DE NUDOS RÍGIDOS

1 OBJETIVOS

El objetivo global de la práctica es modelar y analizar una estructura plana de nudos rígidos, formada por perfiles laminados acartelados, apoyos elásticos y diferentes tipos de carga, con el programa de elementos finitos ADEF/90 (Martí y Company, 1993).

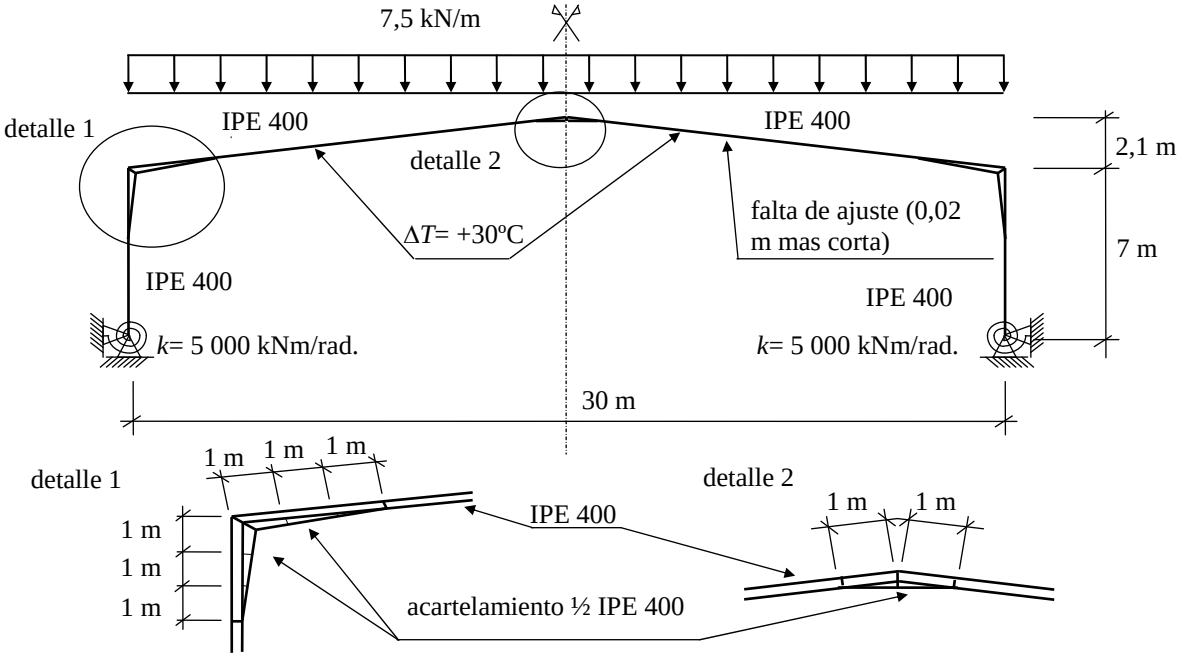


Figura 4.1 Estructura plana con elementos de inercia variable

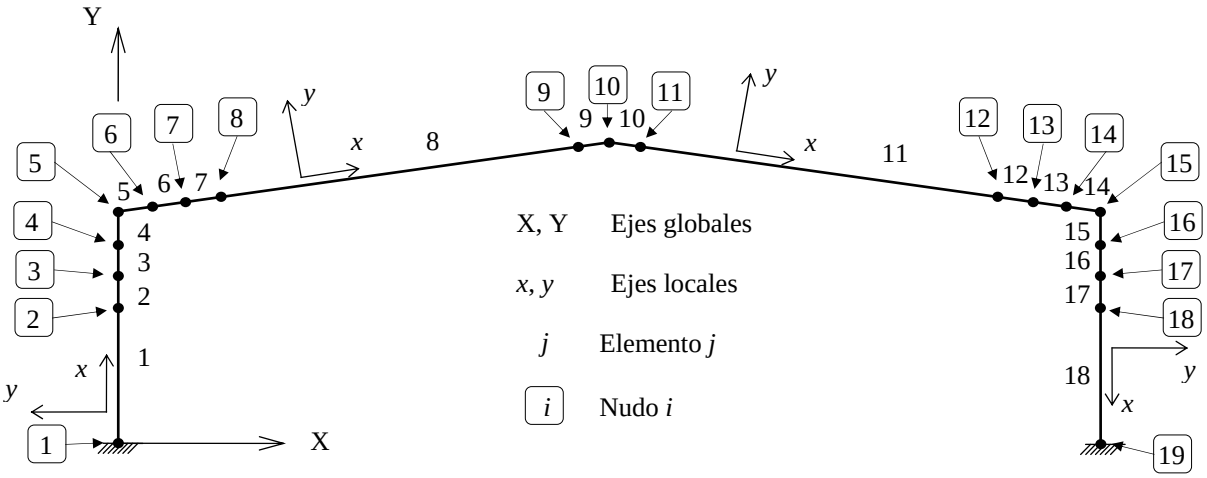
Los objetivos parciales de la práctica son:

1 Modelar la estructura de la figura 4.1 utilizando el programa ADEF/90 con la codificación y datos incluidos en las figuras 4.2, 4.3, 4.5 y 4.6. Se considerarán los 4 casos siguientes:
   1.1 caso 1º: estructura con barras de inercia constante y empotramiento perfecto en la base;
   1.2 caso 2º: estructura con barras de inercia constante y apoyo elástico en la base;
   1.3 caso 3º: estructura con barras de inercia variable y empotramiento perfecto en la base, y
   1.4 caso 4º: estructura con barras de inercia variable y apoyo elástico en la base.
2 Analizar la estructura con ADEF/90 para los casos anteriores y los siguientes estados de carga:
   2.1 estado 1º: carga gravitatoria uniformemente repartida sobre la cubierta de 7,5 kN/m;
   2.2 estado 2º: carga térmica en cubierta de +30 ºC, y
   2.3 estado 3º: falta de ajuste del dintel derecho de la estructura de 0,02 m.
3 Obtener los diagramas de esfuerzos y la deformada aproximada de la estructura.
4 Comparar los resultados de los diferentes casos analizados para observar como influye el modelo de análisis en el comportamiento estructural (desplazamientos, esfuerzos y reacciones).

2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

La estructura de la figura 4.1 puede modelarse para el análisis con ADEF/90 según el caso que se considere:

- Caso 1º: estructura con barras de inercia constante y empotramiento perfecto en la base (figura 4.2). Los elementos que componen el modelo tendrán todos los mismos valores de propiedades de la sección transversal y se considerarán los nudos 1 y 19 empotrados.



DATOS

- Material: E = 210 GPa;
- Propiedades: $A = 84{,}5.10^{-4}$ m^2; $I_z = 23\ 130.10^{-8}$ m^4;

Ejes locales del elemento *ij*

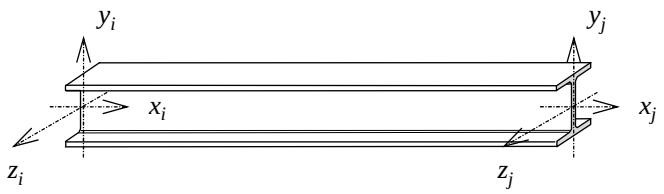


Figura 4.2 Modelo de análisis para ADEF/90: caso 1º

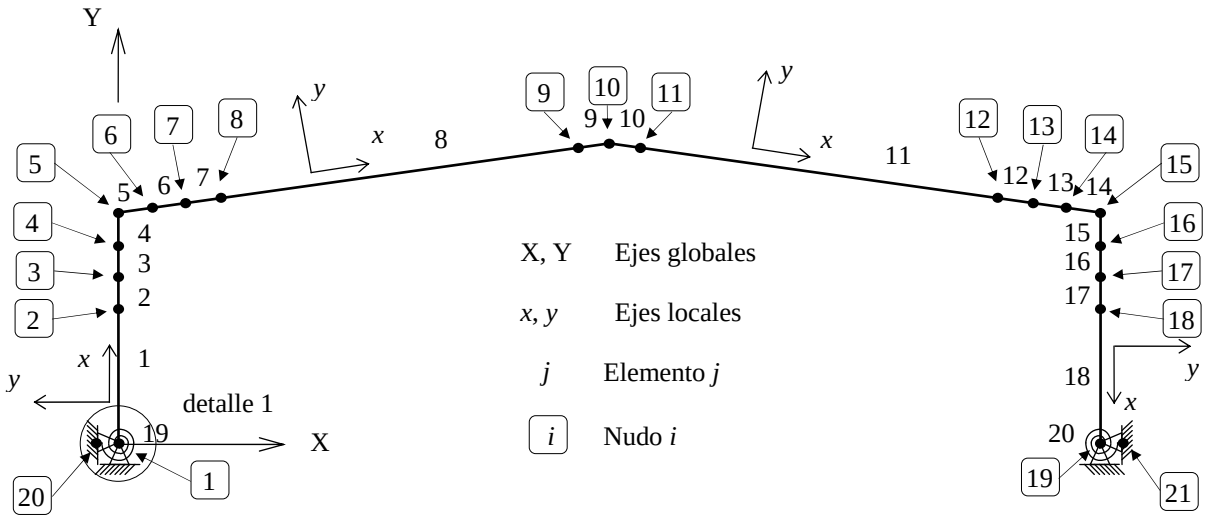
- Caso 2º: estructura con barras de inercia constante y apoyo elástico en la base (figura 4.3). Los elementos que componen el modelo tendrán todos los mismos valores de propiedades de la sección transversal. Los apoyos elásticos (muelles de rigidez al giro k = 5 000 kNm/rad) se simularán en ADEF/90 con unos elementos barra de nudos rígidos perpendiculares al plano de la estructura y que estén sometidos a torsión pura (figura 4.4). Para que estos elementos produzcan el mismo efecto que los muelles, deberá cumplirse

$$k = \frac{GJ}{L} \tag{4.1}$$

siendo:

k la rigidez al giro de los muelles, de valor 5 000 kNm/rad.;
G el módulo de elasticidad transversal del material para los elementos barra de nudos rígidos;
J el módulo de torsión de la sección transversal de los elementos barra de nudos rígidos, y
L la longitud de los elementos barra de nudos rígidos.

Para un correcto modelado se deberán también restringir los nudos de los elementos tal como se ve en la figura 4.4.



DATOS

- Material: E = 210 GPa;
- Propiedades: A_1 a A_{18} = 84,5.10^{-4} m^2; I_{z1} a I_{z18} = 23 130.10^{-8} m^4;
- Apoyo elástico: $k_{19} = k_{20}$ = 5 000 kNm/rad.

NOTA: los subíndices de las propiedades indican el número del elemento al que están asociadas

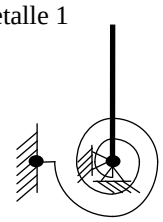


Figura 4.3 Modelo de análisis para ADEF/90: caso 2º

Elementos 19 y 20 muelles de rigidez al giro k = 5 000 kNm/rad.

Elementos 19 y 20 barras de nudos rígidos sometidas a torsión pura con rigidez GJ/L = 5 000 kNm/rad.

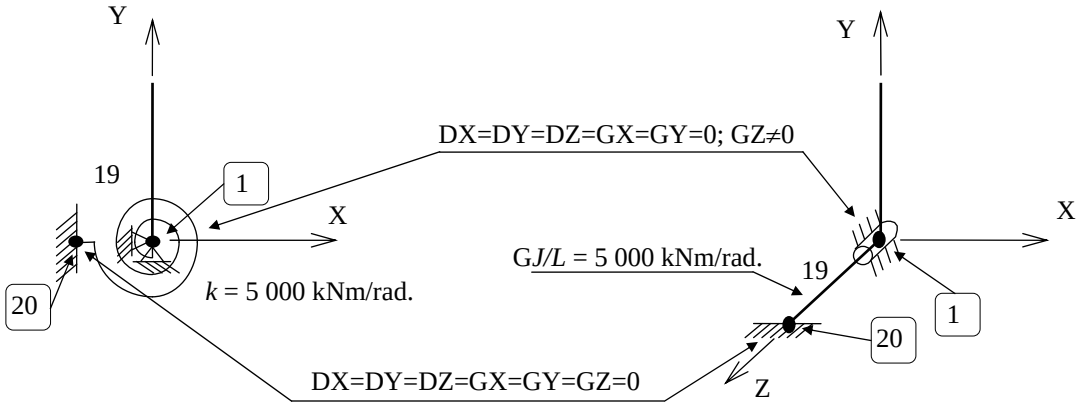
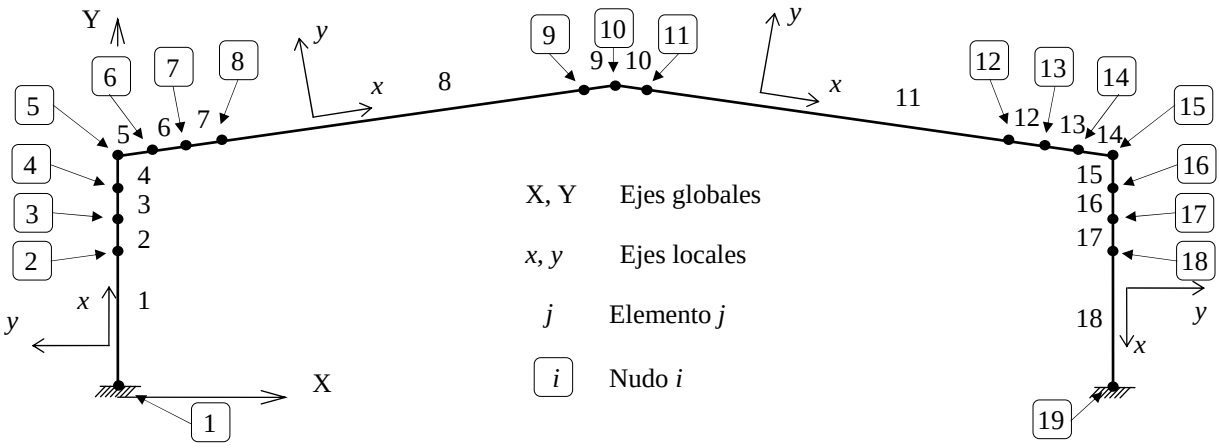


Figura 4.4 Modelo del apoyo elástico en la base con ADEF/90

- Caso 3º: estructura con barras de inercia variable y empotramiento perfecto en la base (figura 4.5). Los elementos de inercia variable que componen el modelo se considerarán, en ADEF/90, como de inercia constante. Los pilares y los dinteles de la estructura quedarán discretizados en elementos de inercia constante cuyo valor varía, simulándose de forma aproximada el cambio uniforme de la inercia de los mismos. Se considerarán los nudos 1 y 19 empotrados.



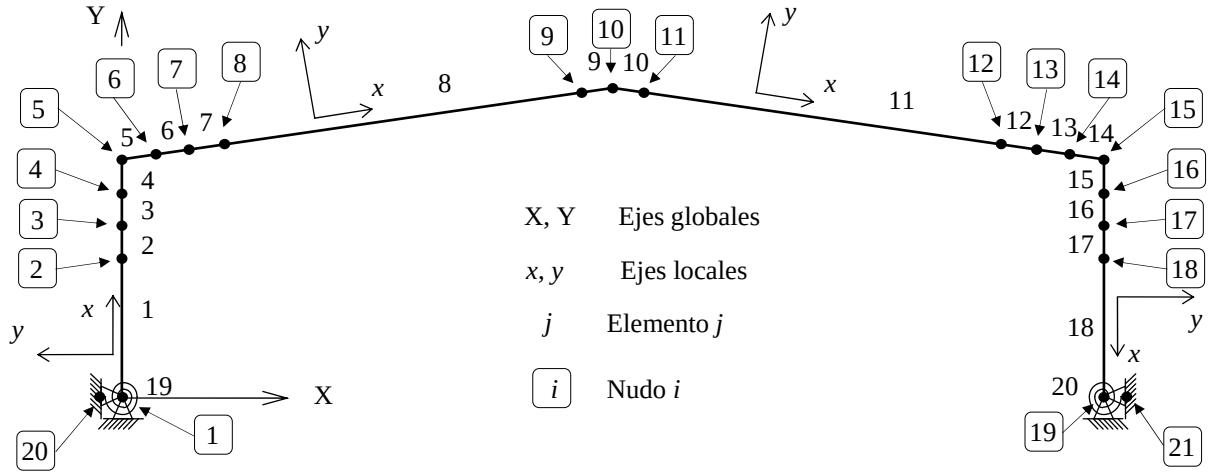
DATOS

- Material: E = 210 GPa;
- Propiedades: $A_1 = A_8 = A_{11} = A_{18} = 84{,}5.10^{-4}$ m^2; $I_{z1} = I_{z8} = I_{z11} = I_{z18} = 23\,130.10^{-8}$ m^4;
  $A_2 = A_7 = A_{12} = A_{17} = 99{,}0.10^{-4}$ m^2; $I_{z2} = I_{z7} = I_{z12} = I_{z17} = 30\,136.10^{-8}$ m^4;
  $A_3 = A_6 = A_9 = A_{10} = A_{13} = A_{16} = 116{,}2.10^{-4}$ m^2; $I_{z3} = I_{z6} = I_{z9} = I_{z10} = I_{z13} = I_{z16} = 41\,909.10^{-8}$ m^4;
  $A_4 = A_5 = A_{14} = A_{15} = 122{,}0.10^{-4}$ m^2; $I_{z4} = I_{z5} = I_{z14} = I_{z15} = 52\,680.10^{-8}$ m^4;

NOTA: los subíndices de las propiedades indican el número del elemento al que están asociadas

Figura 4.5 Modelo de análisis para ADEF/90: caso 3º

- Caso 4º: estructura con barras de inercia variable y apoyo elástico en la base (figura 4.6). Los elementos de inercia variable que componen el modelo se considerarán como en el caso 3º. Los apoyos elásticos se simularán igual que en el caso 2º.



DATOS

- Material: E = 210 GPa;
- Propiedades: $A_1 = A_8 = A_{11} = A_{18} = 84{,}5.10^{-4}$ m^2; $I_{z1} = I_{z8} = I_{z11} = I_{z18} = 23\,130.10^{-8}$ m^4;
  $A_2 = A_7 = A_{12} = A_{17} = 99{,}0.10^{-4}$ m^2; $I_{z2} = I_{z7} = I_{z12} = I_{z17} = 30\,136.10^{-8}$ m^4;
  $A_3 = A_6 = A_9 = A_{10} = A_{13} = A_{16} = 116{,}2.10^{-4}$ m^2; $I_{z3} = I_{z6} = I_{z9} = I_{z10} = I_{z13} = I_{z16} = 41\,909.10^{-8}$ m^4;
  $A_4 = A_5 = A_{14} = A_{15} = 122{,}0.10^{-4}$ m^2; $I_{z4} = I_{z5} = I_{z14} = I_{z15} = 52\,680.10^{-8}$ m^4;
- Apoyo elástico: $k_{19} = k_{20}$ = 5 000 kNm/rad.

NOTA: los subíndices de las propiedades indican el número del elemento al que están asociadas

Figura 4.6 Modelo de análisis para ADEF/90: caso 4º

Una exposición completa de la formulación del método matricial de las rigideces puede encontrarse en la bibliografía (Martí, 2003).

3 DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

3.1 Equipos, hardware y software necesarios para la realización de la práctica

Hardware:

- ordenador PC Pentium III o superior.

Software:

- sistema operativo Windows XP/Vista o superior, y
- programa ADEF/90, versión académica 4.0.

3.2 Procedimiento para modelar y analizar la estructura con ADEF/90

Se propone el siguiente plan de trabajo:

Nº	TAREAS	OPERACIONES PARCIALES	NOTAS Y CUESTIONES
1	Creación de 4 ficheros de datos para ADEF/90 con los 4 modelos de la estructura.	• Modelar la estructura de la figura 4.1 incluyendo en el fichero de datos para ADEF/90: ∗ coordenadas de los nudos, ∗ materiales de los elementos, ∗ propiedades de la sección de los elementos, ∗ información sobre los elementos, ∗ restricciones en los apoyos, y ∗ cargas. considerando los casos 1, 2, 3 y 4.	• La falta de ajuste se considerará en el elemento 11, siendo éste 0,02 m más corto que su longitud teórica. Se podrán utilizar cargas en barras del tipo *fuerzas de empotramiento*. • La carga térmica de +30 ºC se considerará aplicada en los dinteles de la estructura (elementos 5 al 14).
2	Analizar la estructura con ADEF/90	• Utilizar el fichero de datos creado para analizar la estructura introduciendo en ADEF/90 la orden: `incluye <fich.ext>` siendo `fich.ext` el nombre del fichero de datos.	
3	Obtención de diagramas de esfuerzos.	• Recopilación de valores de esfuerzos en los extremos de los elementos desde el fichero de resultados del análisis con ADEF/90. • Obtención de gráficas de leyes de esfuerzos.	• Se considerarán los 4 casos expuestos y las 3 hipótesis de carga.
4	Obtención de la deformada aproximada.	• Obtención de los valores de desplazamientos y giros en los nudos del listado de resultados de ADEF/90. • Obtención de los puntos de los elementos donde los momentos son cero (puntos de inflexión de la curvatura de las barras). • Dibujar la deformada aproximada.	• Se considerarán los 4 casos expuestos y las 3 hipótesis de carga.

Nº	TAREAS	OPERACIONES PARCIALES	NOTAS Y CUESTIONES
5	Comparación de resultados del análisis.	• Recopilación de los valores de momentos flectores en los nudos 1, 5, 10, 15 y 19 de los ficheros de resultados de ADEF/90. • Recopilación de los valores de desplazamiento vertical en el nudo 10 de los ficheros de resultados de ADEF/90. • Ordenación de los valores recopilados sobre un croquis de la estructura. • Comparación de resultados.	• Se propone el formato de representación de resultados del anexo 4.1.

3.3 Memoria de la práctica

Se realizará de acuerdo con las directrices generales y deberá incluir, como mínimo:

1 los listados de datos y de resultados de los diferentes modelos de la estructura (4 casos) para el programa ADEF/90, y
2 los gráficos, tablas, figuras, etc., necesarios para explicar lo realizado en los puntos de la tabla del apartado 3.2.

4 ACTIVIDADES DE APLICACIÓN

Como actividades de aplicación se proponen las siguientes:

1 Estudiar el efecto de la rigidez al giro del apoyo elástico en la cimentación sobre el comportamiento global de la estructura.

2 Modificar el valor de las rigideces al giro *k* de los apoyos elásticos con el fin de que, para el estado de carga nº 1 y para el caso nº 2, el valor del momento flector en los nudos 1 y 19 no sea mayor que 60 kNm.

3 Estudiar el efecto de acartelar los nudos de esquina y/o del nudo superior.

4 Estudiar el efecto de los diferentes modelos propuestos sobre el nivel de seguridad de la estructura.

5 BIBLIOGRAFÍA

1 Argüelles Álvarez R., Argüelles Bustillo R., Arriaga F. y Atienza J.R. *Estructuras de Acero. Cálculo* (Tomo I). 2ª ed. Ed. Bellisco, Madrid, 2005.

2 Martí P. *Análisis de Estructuras. Métodos clásicos y matriciales.* 2ª Ed. Horacio Escarabajal Ed., Cartagena, 2007.

3 Martí P. y Company P.P. *Análisis Interactivo de Estructuras por Elementos Finitos (Manual del Usuario).* Universidad de Murcia, 1993.

4 CTE SE-A *Código Técnico de la Edificación. Seguridad Estructural-Acero*. Ministerio de la Vivienda, Madrid, 2006.

6 PREGUNTAS DE EVALUACIÓN DE APRENDIZAJES

6.1 Cuestiones

1 ¿Cómo influye, en los resultados del análisis del pórtico, la rigidez al giro del apoyo?

2 ¿Cómo influye, en los resultados del análisis del pórtico, el acartelamiento de los nudos de esquina?

3 ¿Cómo influye, en los resultados del análisis del pórtico, el acartelamiento del nudo superior?

ANEXO 4.1 FORMATO PARA COMPARACIÓN DE RESULTADOS

1 COMPARACIÓN DE RESULTADOS

Se propone el siguiente esquema:

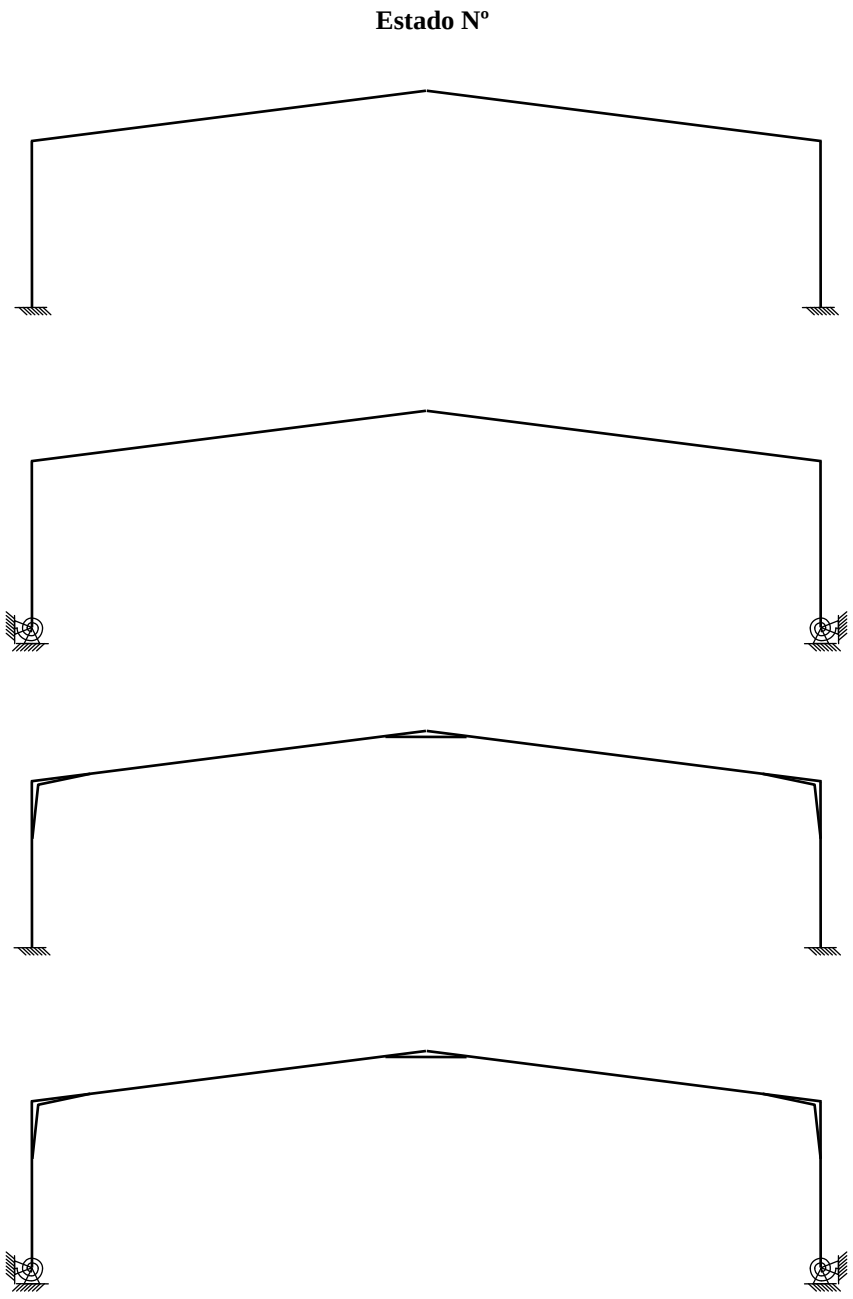


Figura 4.7 Esquema para comparación de resultados del análisis de una estructura plana de nudos rígidos